

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平11-512645

(43) 公表日 平成11年(1999)11月2日

(51) IntCl.<sup>8</sup>B 0 1 F 5/00  
3/08

識別記号

F I

B 0 1 F 5/00  
3/08A  
Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願平9-513899  
 (86) (22) 出願日 平成8年(1996)10月1日  
 (85) 翻訳文提出日 平成10年(1998)4月3日  
 (86) 国際出願番号 PCT/DK96/00416  
 (87) 国際公開番号 WO97/12665  
 (87) 国際公開日 平成9年(1997)4月10日  
 (31) 優先権主張番号 19536856.8  
 (32) 優先日 1995年10月3日  
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(71) 出願人 ダンフォス・エイ/エス  
 デンマーク国 ディケイ-6430・ノルドボ  
 ルグ・(番地なし)  
 (72) 発明者 ニールセン, クラウス・リエ  
 デンマーク国・ディケイ-2100・コーベン  
 ハウン オー・アゲルスボルガード・9  
 (72) 発明者 ブランネビエルグ, ジェンス・アンデル  
 ス  
 デンマーク国・ディケイ-2970・ホルスホ  
 ルム・スタンペディスベイ・9  
 (74) 代理人 弁理士 山川 政尚 (外5名)

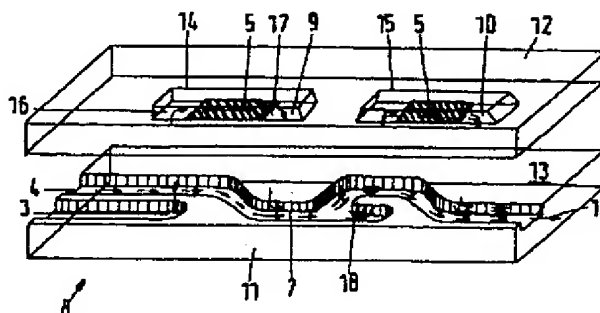
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロミキサおよび混合方法

(57) 【要約】

少なくとも2つの入口チャネル(3、4)を有する入口チャネル配列および出口チャネル配列に接続された、少なくとも1つの混合点(9、10)を有するマイクロミキサ(8)、ならびに異なる方向から供給される少なくとも2つの流体を混合する方法を開示する。このミキサおよび方法は、急速かつ事前決定可能な流体の混合を達成するためのものである。この目的のために、入口チャネルが互いに平行に走る混合点の領域中に延びる分離エレメント(5)を設ける。これにより流体を、それらの流速の値および方向がほぼ一致するまで互いに分離したまま保つことができる。その後でこれらを互いに接触させる。

Fig.2



## 【特許請求の範囲】

1. 少なくとも2つの入口チャンネルを有する入口チャンネル配列および出口チャンネル配列に接続された少なくとも1つの混合点を有するマイクロミキサであって、混合点の入口チャンネル（3、4）が互いに同じ方向に平行に走り、かつ混合点の入口チャンネル（3、4）が互いに平行に走る領域（A）へ延びる分離エレメント（5）を備えていることを特徴とするマイクロミキサ。
2. 入口チャンネル（3、4）が、少なくとも混合点（9、10）の上流側の区間ではずれた平面中を互いに平行に案内されることを特徴とする請求項1に記載のミキサ。
3. 入口チャンネル（3、4）がその高さ（h）より大きい幅（b）を有することを特徴とする請求項1または2に記載のミキサ。
4. 入口チャンネル（3、4）の幅が混合点（9、10）の上流側で拡張されることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか一項に記載のミキサ。
5. 幅（b）を2倍に拡張することを特徴とする請求項4に記載のミキサ。
6. 出口チャンネル配列（7）が入口チャンネル（3、4）と同じ方向を向くことを特徴とする請求項1ないし5のいずれか一項に記載のミキサ。
7. 出口チャンネル配列の少なくとも1つの出口チャンネル（7）が、後続の混合点（10）の入口チャンネル配列となる少なくとも2つのサブチャンネルに分割されることを特徴とする請求項1ないし6のいずれか一項に記載のミキサ。
8. サブチャンネルが、幅の寸法によって決められる同一平面内に位置することを特徴とする請求項7に記載のミキサ。
9. 出口チャンネル配列が単一の出口チャンネルを含むことを特徴とする請求項1ないし8のいずれか一項に記載のミキサ。
10. 分離エレメント（5）が平板形状であることを特徴とする請求項1ないし9のいずれか一項に記載のミキサ。
11. 分離エレメント（5）が、入口チャンネル（3、4）にさらされる分離エレメント（5）の領域より大幅に小さい開口（20）を有することを特徴とする請求項1ないし10のいずれか一項に記載のミキサ。

12. 1つの液体の経路が、少なくとも1つの入口チャネル(4)から出口チャネル配列までの1平面中の進路を有することを特徴とする請求項1ないし11のいずれか一項に記載のミキサ。

13. 接合表面(13)で互いに隣接して重なる底部部分(11)および上部部分(12)と、底部部分(11)および/または上部部分(12)にある、接合表面(13)に向かって開く溝の形状をした入口および出口チャネル(3、4、7)と、底部部分(11)および上部部分(12)にある溝のオーバーラップ領域を少なくとも部分的に覆う分離エレメント(5)とからなることを特徴とする請求項1の前文あるいは請求項1ないし12のいずれか一項に記載のミキサ。

14. 入口チャネル配列(3、4)の一部分、混合点(9、10)の一部分、および出口チャネル配列(7)が、接合表面(13)に向かって開く溝として底部部分(11)に形成され、入口チャネル配列(3)の残りの部分および混合点(9、10)の残りの部分が、分離エレメント(5)によって部分的に覆われる凹部(14、15)として上部部分(12)に構成されることを特徴とする請求項1ないし13のいずれか一項に記載のミキサ。

15. 分離エレメント(5)が上部部分(12)の一部分であることを特徴とする請求項14に記載のミキサ。

16. 分離エレメント(5)が、入口チャネル配列の方に向く凹面または三角形構造の凹部(21)を有することを特徴とする請求項1ないし15のいずれか一項に記載のミキサ。

17. 入口チャネル配列が3つの入口チャネルを有することを特徴とする請求項1ないし16のいずれか一項に記載のミキサ。

18. 中央の入口チャネルが、少なくとも混合点ではその他2つの入口チャネルより細くなることを特徴とする請求項17に記載のミキサ。

19. 混合点の下流側に追加の入口チャネル配列および混合点が構成され、その積層化動作が最初の混合点に対して90°回転していることを特徴とする請求項17または18に記載のミキサ。

20. 異なる方向から供給される少なくとも2つの流体を混合する方法であって、それらを互いに平行に位置合わせし、それらの流れの方向がほぼ一致するまで

## 互

いに分離したまま保ち、その後で互いに接触させることを特徴とする方法。

21. 流体の流速を互いに接近させ、これらの流速が必要な程度に等しくなるまで流体を互いに分離したまま保ち、その後で流体を互いに接触させることを特徴とする請求項20に記載の混合方法。

22. 流体がそれらそれぞれの最大の境界表面で互いに接触することを特徴とする請求項20または21に記載の混合方法。

23. 流体流の断面を流体が互いに重なる前に拡大することを特徴とする請求項20ないし22のいずれか一項に記載の混合方法。

24. 合成流体流を、流れの断面の細い側面と平行に行う分割によって分割し、その分流を上下に流し、方向および流速が接近した後で接触させることを特徴とする請求項20ないし23のいずれか一項に記載の混合方法。

25. 3つの流体が互いに合成され、中央の流体がその他2つの流体と比較して幅の狭い流れの断面を有することを特徴とする請求項20ないし23のいずれか一項に記載の混合方法。

26. 既に合成した流体流の方向および速度と近い方向および速度を有するさらに別の2つの流体を側面から追加して供給し、全ての速度および方向が一致するまでこれらの流体を合成流体から分離したまま保ち、その後2つの流体を合成流体流と接触させることを特徴とする請求項20ないし25のいずれか一項に記載の混合方法。

27. 少なくとも一対の外側の流体の供給を同時に実施することを特徴とする請求項25に記載の混合方法。

## 【発明の詳細な説明】

マイクロミキサおよび混合方法

本発明は、少なくとも2つの入口チャネルを有する入口チャネル配列および出口チャネル配列に接続された少なくとも1つの混合点を有するマイクロミキサに関する。本発明はさらに、異なる方向から供給される少なくとも2つの流体を混合する方法に関する。

流体の混合は、化学反応を開始する際にしばしば必要とされる。このような化学反応は、例えば流体中の化学種の存在および／または濃度を決定する分析で必要となる。この目的のために、流体には、検出器で検出可能な反応生成物をこの化学種とともに形成する1つ（または複数）の試薬を加える。流体および試薬、すなわち2つ以上の流体を制御して均一に混合することがここでは望ましい。ただし、試薬の消費が多くなり過ぎないように、混合に必要な体積はできる限り小さく保つものとする。

導入部で述べた種類の静的マイクロミキサは、D-98684 IlmenauにあるTechnischer Universität Ilmenauの工学部マイクロシステム工学科により提案されている。薄いマイクロミキサの基体はシリコンからなる。この基体にマイクロチャネルおよび開口を作成する。これらのチャネルはシリコンまたはガラス製基板により密封される。2つの液体の混合は、これら2つの液体を混合エレメント中で並べて水平方向に層状にし、次いで垂直方向に分離することにより達成される。混合エレメントは、この場合には、2つの入口チャネルが両側からその中通じる凹部により形成される。次いで2つの分流をこの凹部から抽出し、その後同様にして後続の混合エレメント中で混合する。

この構成では、混合中の液体の挙動を十分正確に予見することが比較的困難である。したがって、2つの流体の反応過程もある限られた程度までしか予見することができない。したがって、後に反応生成物を分析する際に、2つの流体を完全に混合した後で反応が既に終了しているかどうか、または反応が終了していな

ければ個別の反応時間を再現することができるかどうかという点が常に不明確に

なる。もちろん、2つの流体を合わせた後で一定時間待機すればこの不利を軽減することはできるが、この待機時間により分析速度は低下することになる。

本発明は、流体を急速かつ事前決定可能に混合することができるようにする問題に基づく。

導入部で述べた種類のマイクロミキサでは、この問題は、混合点にある入口チャンネルを同じ方向に互いに平行に走らせること、および入口チャンネルが互いに平行に走る混合点の領域中に延びる分離エレメントを備えることにより解決される。

このようなマイクロミキサを使用すると、2つの流体流はいわば互いに積層化される。これらは、同じ方向および同じ速度をもって混合点で合流する。分離エレメントが終端した直後に、各流体流はもう一方に滑らかに重なり、境界表面が生まれ、これを介して拡散による混合が起こることができる。2つの流体が拡散する挙動は既知である、または決定することができる。しかし、このマイクロミキサの構成により、拡散の進行の必須要素である拡散領域もまた既知となる。拡散領域は、やはり分離エレメントが存在する出口チャンネルの領域に相当する。互いの濃度を等しくすることにより達成される2つの流体の混合を観察することができる。

少なくとも混合点より上流側の区間ではずれた平面内で、入口チャンネルを互いに平行に案内することも好ましい。入口チャンネルは、ここでは上下になるように案内される。このようにして、層状の2つの流体の配列にさらに影響を及ぼし、例えば各層をできる限り幅広くかつ薄くすることができる。

入口チャンネルは、高さより幅の方が大きくなることが好ましい。幅は、平面とほぼ平行になるようにすることができる。このようにして、2つの流体を合わせたときに、かなり大きい拡散領域が生成される。拡散領域が大きくなれば、より急速に混合を進行させることができる。拡散面は平坦である。2つの流体の層の厚さまたは高さはその幅にわたって一定となるので、混合中の挙動は比較的容易に事前決定することができる。その他の点を変更しない条件では、幅が増加するにつれて高さが減少し、拡散距離が短くなる。

混合点の上流側で入口チャンネルの幅を拡張することも好ましい。このようにし

て、拡散領域をさらに大きくし、層の厚さをさらに薄くすることができる。いずれにしても流体流の少なくとも一部分の方向を変化させれば幅は拡張されるので、幅を拡張した後、流体を合わせる前に、同じ方向および任意選択で同じ速度に回復させなければならない。

この場合では、幅を拡張することにより幅が2倍になることが特に好ましい。同時に、断面積が一定のままであるように入口チャネルの高さが半分になる。流れの速度には、これにともなう変化はない。

出口チャネル配列が入口チャネルと同じ方向を向いているのは有利である。これにより流体は、マイクロミキサを通して主にほぼ1方向に流れる。極端な偏向は、拡散領域を十分な確度で予見できなくなる危険性を常にともなうので避けられる可能性がある。ただし、比較的小さな方向転換は可能である。

特に好ましい構成では、出口チャネル配列の少なくとも1つの出口チャネルが、後続の混合点の入口チャネル配列となる少なくとも2つのサブチャネルに分割されるようになっている。このようにして、後続の混合点のそれぞれにおいて、層数は2倍（混合点の入口チャネルが2つの場合）、または3倍（混合点の入口チャネルが3つの場合）になる。これに応じて拡散領域数も増加する。各流体はさらに薄い層となって互いに重ねられる。拡散領域が拡大したことを除けば、これには、各流体が浸透しなければならない厚さがあるかに小さくなることから、流体の相互浸透をかなり速く達成することができるという追加の利点がある。

サブチャネルは、幅の寸法によって決めらる同一平面内に存在することが好ましい。したがって分割は細い側面でまたはチャネルの高さで平行に実施され、流体はチャネルの幅広い側面と平行に、すなわちその前の混合点の積層面に対して直角になるようにして互いに重ねられる。これにより、可能な最大の拡散領域を利用することが保証される。

出口チャネル配列は単一の出口チャネルを含むことが好ましい。各流体間での拡散領域の形成は、この場合に可能な最良の方法で確実に行うことができる。

分離エレメントは平板形状であることが好ましい。各流体がもう一方の上に重なる際に、2つの流体を互いに積層化する間に外乱につながる可能性のある顕著な段は生じない。

この場合には、分離エレメントが、入口チャンネルにさらされる分離エレメントの領域より大幅に小さい開口を有することが好ましい。開口があっても、流体流は、これらの流体が同じ方向および任意選択で同じ流速になるまで強制され、維持される。マイクロミキサの製造はこの開口によって大幅に簡単になる。例えば、分離エレメントを通して材料を除去し、入口チャンネルを形成することも可能である。

1つの液体の経路は、少なくとも1つの入口チャンネルから出口チャンネル配列への進路を、1平面中に有することが好ましい。これにより製造が簡単になる。このようなチャンネルは構成部品の表面内で容易に作成することができる。

本発明によるミキサは、接合表面で互いに隣接して重なる底部部分および上部部分と、底部部分および／または上部部分にある、接合表面に向かって開く溝の形状をした入口および出口チャンネルと、底部部分および上部部分にある溝のオーバーラップ領域を少なくとも部分的に覆う分離エレメントとからなることが好ましい。このようなミキサは、プレーナ技術で非常に容易に製造することができる。断面の小さなチャンネルをそれで非常に精密に得ることができる。分離エレメントは、底部部分および上部部分にある溝のオーバーラップ領域を少なくとも部分的には覆うので、ある一定距離ではあるが同時にチャンネルを分離した状態に保ちながら、これらの溝を平行に案内することができる。上述のように、この機会を活用して、混合点のすぐ上流側の入口チャンネル領域または混合点に分離エレメントを配置し、各流体をもう一方の上に重ねる前にこれと平行に位置合わせすることができるようにすることができる。ミキサを逆方向に動作させても、分離エレメントによる流体流の分離は達成することができ、この分離は分離エレメントにより実施される。分離エレメントはブレードや刃として働く。分離エレメントは接合表面の領域に配置されるので、分離エレメントの上下でそれぞれのチャンネルを利用して、流体が少なくとも短い距離は依然として進行方向にまっすぐに流れ続けるようにすることができる。したがって、流れの特性の変化をとまなう流体の乱流は生じない。このような流体流の分割を使用して、例えば、1つの流体流から2つの流れを生み出し、次いでこれらの流れを再度上下にして流し、上下に積層化することができる。「これらを上下にして流す」ことは、分離エレメントが位



置する平面に対する位置合わせと関係する。その結果、2つの分流はこの平面の上下に流される。

入口チャネル配列の一部分、混合点の一部分、および出口チャネル配列が、接合表面に向かって開く溝として底部部分に形成されること、ならびに入口チャネル配列の残りの部分および混合点の残りの部分が、分離エレメントによって部分的に覆われる凹部として上部部分に構成されることは有利である。このような構成により、製造を簡単にし、小型に構築することができる。底部部分にある溝の構築は、既知の技術によって困難もなく実行することができる。例としては、フライス削りやエッチング、または半導体およびマイクロエレメントの分野で既知のその他の材料除去技術を考慮することができる。上部部分にある凹部もまた困難なく作成することができる。接合表面は1つしかないので、密封も比較的簡単である。

分離エレメントが上部部分の一部分であるのは有利である。その場合、全体的に見て、製造しなければならない部分は2つしかない。分離エレメントが上部部分とともに単一の部片からなる場合でも、分離エレメントは開口を有し、それを通して凹部を作成することができるので、製造は比較的簡単である。

分離エレメントが、入口チャネル配列の方に向く凹面または三角形構造の凹部を有するのは有利である。このような凹部により、2つの流体はチャネル縁部で合流する前にチャネル中央部で合流することができる。この場合、層流中では流速は縁部より中央部の方が大きくなることを考慮している。

さらに別の好ましい態様では、入口チャネル配列が3つの入口チャネルを有するようになっている。これは、3つの流体層をまとめて積層化することに対する備えである。

この場合、特定の構成では、少なくとも混合点では中央の入口チャネルがその他2つの入口チャネルより細くなるようにすることができる。この場合、中央の入口チャネルからの流体を外側の入口チャネルからの2つの流体によって包み込むことができる。これは、上部および底部のカバー層、すなわち外側の2つの入口チャネルから供給されるそれぞれの平面中にある2つの層に対して容易に理解することができる。しかし、これら2つの平面の間の中央部で2つの外側縁部に

よって覆われるのは、中央の入口チャンネルからの比較的幅の狭い入口流体であるので、外側の入口チャンネルからの2つの流体は、幅方向に互いに引き寄せられて接近し、接触することになる。これにより中央の流体が外側の2つの流体で包み込まれることになる。この包込みも混合に使用することができる。しかしチャンネルの断面を適当なサイズになるように選択すると、全く異なる影響がもたらされる可能性がある。この場合には、実際には、少なくとも一定期間この流体と隣接するチャンネルの壁面との接触を防止するジャケットを、中央の流体の周りに配置することができる。

別のまたは追加の構成では、混合点の下流側に追加の入口チャンネル配列および混合点が構成され、その積層化動作は、最初の混合点に対して90°回転している。この場合には、上部および底部からのみではなく左右からも積層化が起こり、これは最終的には同じ結果をもたらす。次いで中央の流体は包み込まれ、チャンネル壁面と接触することができなくなる。

導入部で述べた種類の方法では、流体を互いに平行に位置合わせし、それらの流れの方向がほぼ一致するまで互いに分離したまま保ち、その後互いに接触させることにより問題は解決される。

マイクロミキサに関連して上記に述べたように、このようにして2つの流体の積層化は達成され、最終的にはほぼ拡散のみに基づいた混合が可能になる。拡散領域および拡散距離すなわち各層の高さをここでは比較的容易に事前決定することができるので、拡散プロセス自体したがって混合シーケンスもまた比較的正確に事前決定することができる。

流体の流速を互いに接近させ、これらの流速が必要な程度に等しくなるまで流体を互いに分離したまま保ち、その後流体を互いに接触させることが好ましい。このようにして、接触時の流体の乱流は非常に確実に回避される。この動作は滑らかに進行する。流速を一致させることは好ましいが、必要というわけではない。

好ましい構成では、流体は、それらそれぞれの最大の境界表面で互いに接触する。このようにして大きい拡散領域および小さい拡散距離を達成し、ほぼ拡散のみに基づく流体の急速な混合を実施する。境界表面すなわちボーダ表面は、この

場合では流れの向きと平行な各流体を画定する表面である。

流体流の断面を、流体が互いに重なる前に拡大することが好ましい。このようにして、拡散領域はさらに拡大され、拡散距離はさらに短くなり、混合プロセスは加速される。

合成した流体流を分割することも好ましい。この分割は流れの断面の細い側面と平行に行い、その分流を上下に流し、方向および流速が接近した後で接触させる。分割および層化を繰り返すことにより、一方では非常に薄い層が生成され、もう一方では多数の拡散領域が生成され、混合プロセスを短時間で終了することができる。

中央の流体流の断面がその他2つの流体と比較して幅が狭い、3つの流体を互いに合成することは有利である。このようにして、上記に述べたように、中央の流体をその他2つの流体で包み込む。

既に合成した流体流の方向および速度と近い方向および速度を有するさらに別の2つの流体を側面から追加して供給し、全ての速度および方向が一致するまでこれらの流体を合成流体から分離したまま保ち、その後2つの流体を合成流体流と接触させることも好ましい。もちろん、速度の調整が必要となるのは各流体間の界面においてのみである。流体が互いに接触した後、次いで合成流体流は発達し、再度層流の形態をとるようになる。中央の流体流はこの方法でも包み込むことができる。

少なくとも一対の外側の流体の供給を同時に実施することは特に好ましい。これにより流体の包込みに必要な全体的な長さが減少する。

本発明について、好ましい実施形態に関連して図面と関係づけて以下に記載する。

第1図は、2つの流体の混合を示す概略図である。

第2図は、マイクロミキサの概略的な透視分解図である。

第3図は、分離エレメントの平面図である。

第4図は、合成流体の構造を示す図である。

第5図は、別の合成流体の断面図である。

第6図は、第3の合成流体の断面図である。

第7図は、混合点の後で隣接する2つの流体を分割する、第1図に対応する図である。

第8図は、流れの向きを逆にした、第7図に対応する図である。

以下の説明では流体として液体を使用する。ただし、この方法で全く同様に気体を混合することもできる。

第1図は、2つの液体1、2が互いにどのようにして混合されるかを概略的に示す図である。分かりやすくするために、第1図の図は、分解して高さを大幅に誇張して示してある。現実には、図示の段ははるかに小さくなる。それらが液体層または液体流の高さを超える程度はわずかである。

2つの液体流1、2は、入口チャンネル配列をともに形成する別々のチャンネル、いわゆる入口チャンネル3、4（第2図参照）中を流れる。第1図から明らかなように、液体流は、高さ $h$ よりかなり大きい幅 $b$ を有する。入口チャンネル3、4の始めの部分では、流れ1、2はともに同一平面内を流れる。

液体流1はこの平面内に残り、特定区間で幅を2倍に拡張して高さを半分に減少させる程度しか変化しないが、第2液体流2は第1液体流1の平面からずれた平面中に流される。この平面中で、第2液体流2は同様に幅を2倍に拡張し、高さを半分に減少させる。この領域では、2つの液体流1、2は上と下とで流れている。両液体流1、2は最初は横に並んで配列されていたので、2つの液体流1、2を上下で流すには、これらを上下に配置されている共通の領域Aに、異なる方向から供給する必要がある。次に領域A中で、2つの液体流1、2は、その終端部で同じ流れの方向および流速を有するように案内される。この状態に達するまで、これらは分離エレメント5によって分離されたまま保たれる。分離エレメント5は、2つの液体流1、2の2つの流れが互いに影響を及ぼさないことのみを保証すればよい。したがって、領域Aの終端部で、両液体流1、2が同じ速度で同じ方向に流れる層流となって流れるようにすることができる。その結果、分離エレメント5が終端すると、2つの液体流は接触面6で互いに接触することになる。このとき合成した液体流は幅 $2b$ および高さ $h$ を有する。各液体流1

と2の間の接触面6で乱流が発生する危険性は非常に小さい。液体流1、2からの2つの液体の混合は、ほぼ拡散によってのみ、すなわち接触面6を介して濃度を徐々に均等化することによってのみ達成される。拡散の機構自体は既知である。

ここで重要な影響要素は、特に、それを介して拡散が達成されることから以下では「拡散領域」と呼ぶ接触面6のサイズ、および各層の厚さである。両要素ともに、本明細書に記載のミキサでは非常に正確に設定することができる。拡散領域の幅は出口チャンネル7（第2図）の幅2bに相当し、高さは出口チャンネル7の高さの半分に相当する。

2つの液体流1、2は互いにほぼ積層化されるので、非常に容易に制御することができる拡散による2つの液体の混合が実現する。

上記に述べたように、液体流2が有する段は誇張した大きなスケールで示してある。現実には、下側の平面から上側の平面までの段は、第1液体流の高さhに分離エレメント5の厚さを加えた程度にしかない。液体流2を第2平面から再度第1液体流1に戻す第2の段では、その高さは分離エレメント5の厚さのみに相当する。

第2図は、第1図に概要を示したシーケンスを実施するために使用することができるミキサの図である。しかし、第2図に示すミキサ8では、チャンネルは混合点の前で幅が拡張されない。そのために、ミキサ8はほぼ同様の構造を有する前後に配列された2つの混合点9、10を有する。

ミキサ8は底部部分11および上部部分12からなり、これらは第2図では上部部分を持ち上げて互いに離れた状態で示すが、現実には接合表面13を介して互いに隣接した状態になっている。例えば、これらはここでは、接着して互いに固定することもできる。

底部部分11は、例えばガラスからなる。1つの入口チャンネル4、出口チャンネル7、および混合点9、10の一部分は、例えばフライス削りやエッチングまたはその他のマイクロ技術によって、底部部分の接合表面13中に作成される。ほぼ1平面中を走る連続チャンネルは、このようにして底部部分11中に作成される

ことは容易に分かる。分かりやすくするために、このチャンネルの高さは非常に誇張して示してある。現実にはこれははるかに浅くなる。チャンネルの幅は約200  $\mu\text{m}$ 、高さは約30  $\mu\text{m}$ である。

シリコンからなることもある上部部分12は、例えばそれぞれに混合点9、10のための凹部14、15を有し、これらの凹部は分離エレメント5によって部

分的に覆われる。分離エレメント5および上部部分12は、1つの部片として構成される。凹部14、15は上部部分12中にエッチングすることもできる。もちろん、分離エレメント5を独立した構成部品として構築し、上部部分12と底部部分11を組み立てる際にこれらの間に配置することも可能である。分離エレメント5は薄板形態、または別法として箔にすることもできる。

したがって、流れの方向に見て分離エレメント5の上流側には、それを介して入口チャンネル3からの液体を凹部14中に上昇させることができる開口16が設けられる。入口チャンネル3がこの領域で終端するので、この上昇は強制的に行われる。液体は開口を通過して凹部に浸入するよりほかはない。

凹部14はさらに、流れの方向に見て分離エレメント5の後方に、実際の混合点9を形成する開口17を有する。ここでこの液体は、第2入口チャンネル4からここに流入した液体流に重なる。開口17の終端部で液体は再度下方に流れ、出口チャンネル中に流入しなければならない。

分かるように、入口チャンネル4は、この位置までに2回方向転換している。これは第1入口チャンネル3の端部を回るように流れ、その後実質的には第1入口チャンネル3の延長として引き続き流れる。分離エレメント5はこの第2入口チャンネル4の方向転換を完全に覆うのに十分に長く、第2入口チャンネル4からの流れが下側部分11の前縁部と平行に流れるように再度調節された後で開口17を解放する。凹部14中の流れも同じ方向の流れである。このとき両液体は同じ速度で同じ方向に流れている。その後でこれらを互いに滑らかに重ねることができる。この動作後に拡散が開始する。入口チャンネル4により案内されるため、液体がここで流れなければならない経路の長さは、入口チャンネル3からの液体の経路とほぼ同じ長さとなる。

第2混合点10は、第1混合点9の出口チャンネル7からの供給を受ける。この目的のために、出口チャンネル7の方に向く底部部分11中の突起18によって、出口チャンネル7からの液体流を分割して2つの分流にする。一方の分流はここで終端するので、第2混合点10の凹部15中に押し込まれる。もう一方の分流はその外側を迂回して流れ、混合点10で第1分流と合流する。入口チャンネル3、4からの2つの液体は第1混合点9で垂直方向に上下に積層化されているので、

第2混合点10では2倍の数の層が存在する。出口19の高さが一定に保たれる場合には、これにより拡散領域数が増加するだけでなく、同時に各層の高さが減少する。この種のミキサをさらに直列に接続すると、各ミキサにおいて層数は2倍になり、層の高さは半分になる。ミキサが $n$ 個ある場合には、 $2 \times 2^n$  個の層が生じる。これを第2図に矢印で概略的に示す。その後全ての層は、拡散による良好な混合を確実に行うことができるように、最も幅の広い表面で互いに接して重なる。

第2図は、分離エレメント5が開口を有する平板形状であることを概略的に示す図である。これらの開口20を、第3図にさらに明白に示す。ここで、2つの入口チャンネル3、4のそれぞれは、方向転換して領域Aに案内される。異なる平面を分かりやすくするために、一方の入口チャンネル3は実線で示し、もう一方の入口チャンネル4は破線で示す。

開口20は、分かりやすくするために誇張して大きく示してある。現実には、開口20ははるかに小さくなる。その全体の面積は、分離エレメントの残りの面積よりかなり小さい。これらの開口は上部部分12の凹部14をエッチングする際に好都合である。ただし、それでもこれらは、流れの速度および方向が再度一致する前に、入口チャンネル3、4中の各液体流の早すぎる混合が起こらない程度に十分に小さい。図示の開口は出口チャンネル7に対して鋭角に走る。ただし、これらを出口チャンネルと直角に配列する、または出口チャンネルの方向に走るようにすることもできる。後者の代替例は、分離エレメント5の上部側と底部側の間で良好な圧力補償が達成されるのは有利である。

第3図から分かるように、分離エレメント5は、流れの方向に見てその終端部

に、三角形凹部21を有する。ここで、2つの液体はさらに早く互いに接触することができる。これは、層流の流速が縁部より中央部で大きくなることを考慮している。

ミキサ8を使用する主な分野は2つの液体の混合である。しかし、意外なことに、このようなミキサに若干の修正を加えて、別の適用分野の用途に使用できることが分かっている。正確には、1つの液体をその他の液体の内側に包み込むことができる。これについて、第4図に関連してさらに詳細に説明する。包み込ま

れる液体22は斜線を付けて示す。包み込む液体は空白にして示す。

包込みのために3つの液体流を用意する。そのうち中央の液体流は液体22であるが、外側の2つの液体流23、24は包み込む液体により形成される。これら3つの液体流22、23、24は、第2図の左側に示すようにミキサによって互いに積層化される。積層化は、前後に配列された混合点で実施される可能性が非常に高い。液体23が上側液体を表し、液体24が下側液体を表すものとして後続の段階でさらに別の2つの液体流25、26を、この合成した液体22ないし24上に左右から積層化し、最後に第4図の右側に示す液体27の最終的な流れを生み出す。この種の包込みでも各液体間で拡散が起こることになるので、このような包込みプロセスでは、当然包み込む液体の層の方がいくらか厚くなるように選択されることになる。しかし、それを介して拡散を実施することができる各表面、および層の厚さを比較的正確に事前決定することができるので、液体22がその他の液体23ないし26によって包み込まれるのにかかる時間もまた、比較的正確に推定することができる。

第5図は、液体22が2つの液体23、24によってのみ包み込まれる、包込みのもう1つの実施形態を示す図である。この目的のための原則として唯一の要件は、液体流22の幅がその他2つの液体流23、24の幅より小さいことである。この場合、包囲する液体23、24は少なくとも液体22の高さの一部を越えて前進し、その後互いに重なることになる。ただし、この場合には、細い側面の領域では各液体22と23および22と24の間の分離面をそれほど正確に事前決定することができないことを指摘しておく。このような包込みは、液体22



の高さがその幅と比較して非常に小さい場合にのみ、必要なだけの信頼性をもって達成することができる。

第6図は、液体を互いに積層化する際に、2つの液体23、24を正確に上下に位置合わせする必要があることを示す図である。高さ $h$ と比較して非常に大きなオーバーラップ $k$ が存在すれば十分である。そうでない場合には、第6図に示すように、所望かつ必要な確度で容易に事前決定することができない経路を有する拡散領域28が生じる。

第1図の図に対応して、第7図は、2つの液体がどのようにして互いに混合されるかを示す概略図である。したがって同じ参照番号を使用する。この場合も、分かりやすくするために、図は分解して非常に誇張したスケールで示す。現実には、図示の段ははるかに小さくなる。これらの段は、液体層または分離エレメント5の高さをほんのわずかに超えるに過ぎない。

2つの液体流1、2は、接触面6で互いに接触した後で、分離エレメント5の平面に対して直角に互いに分離される。例えば、このために第2図に示す突起18を使用することもできる。分離点は、第7図では番号29で表す。その結果、元の液体流1、2を含み、各液体流1、2と同じ断面をそれぞれ垂直方向に有する、2つの液体流30、31が生まれる。ただし、これらは2層からなり、2つの流れ30、31はそれぞれ液体1および液体2からなる。2つの液体流30、31は次に、次の混合段階の入口に移り、そこで液体流1、2として使用することができる。数回の混合段階の後で、液体層は非常に浅くなり、多数が上下に「積み重ねられた」状態になる。

液体の流れは、矢印32の方向すなわち第7図では基本的に左から右の方向に向いている。

第8図は、このようなミキサを逆方向に動作させたときの動作様式を示す図である。この場合には、領域29で2つの液体30、31はそれぞれ、第7図に示すような水平面沿いではなく垂直面沿いに互いに重なる。

分離エレメント5を使用して次にこの合成流体流を分割するが、厳密に言うと今度は、第7図に示すような垂直面沿いではなく水平面沿いに分割する。この

2つの液体流は、第8図の左側の終端部で再度平行に並ぶ液体流1、2となって流された時に、後続の混合段階で再度互いに混合する、すなわち垂直に延びる平面に沿って互いに積層化することができる。

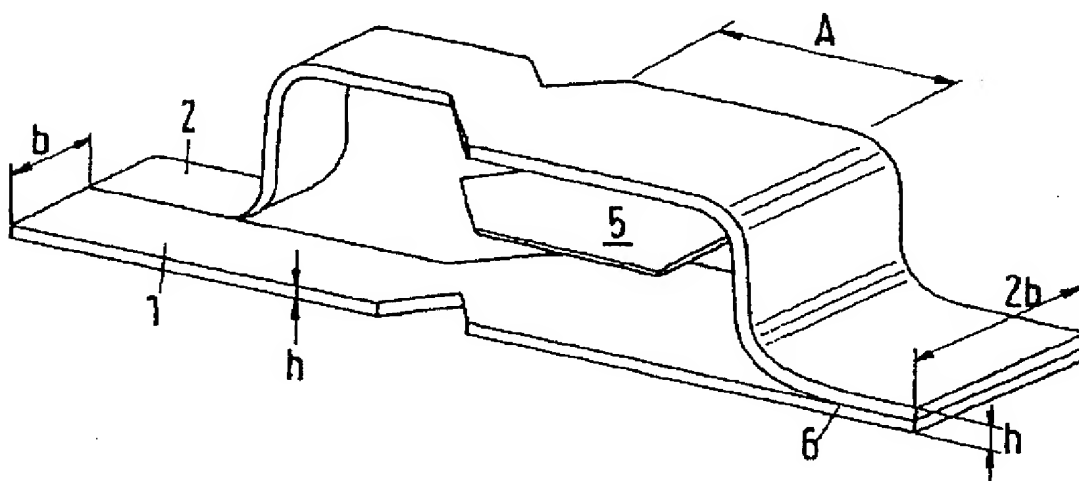
第8図から分かるように、2つの液体30、31の一致前の方向転換があまり大きくならない場合には、互いに上下に積層化する間に分離エレメントが絶対必要となるわけではない。それでも、分離エレメントによって混合動作を改善または促進することができる。

例示した方法では、流体A、Bが(A-B-A-B)と常に交互に配列される層の配列を達成することができる。ある適用分野の場合では、中央の平面に関し

て対称になるように構成された層配列を達成することが望ましいこともある。その場合には、流体A-Bおよび流体B-Aを充填する平行な2つのミキサを第3のミキサと直列に接続し、層配列A-B-B-Aが生じるようにする。

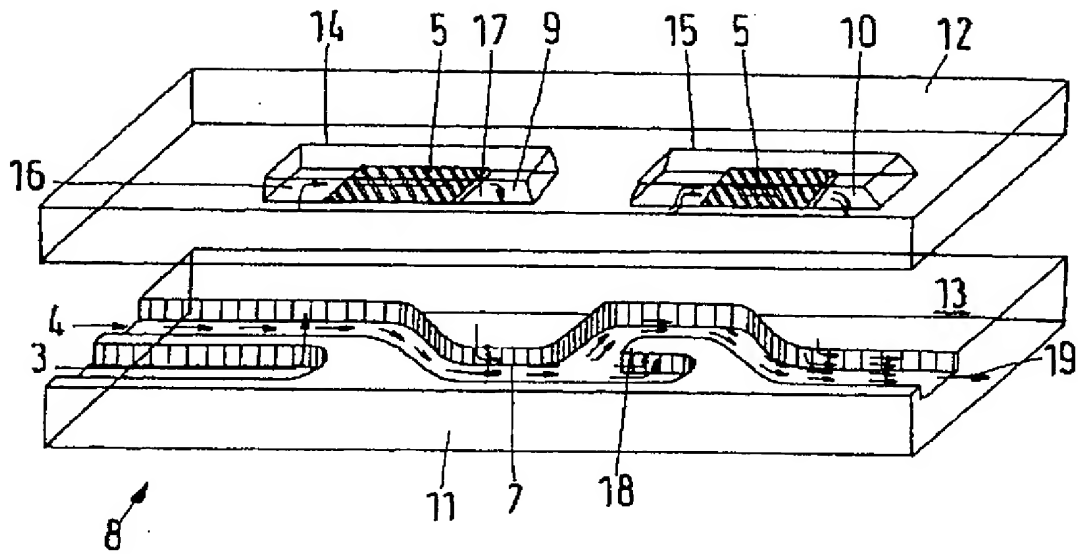
【図1】

Fig.1



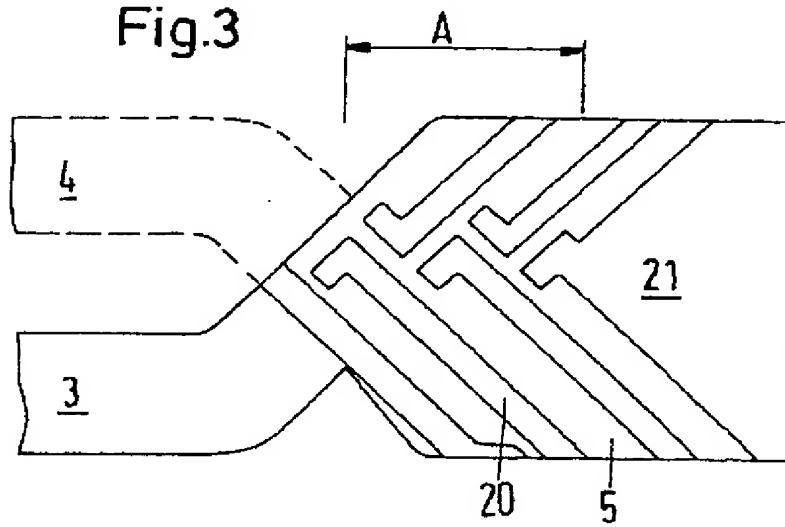
【図 2】

Fig.2



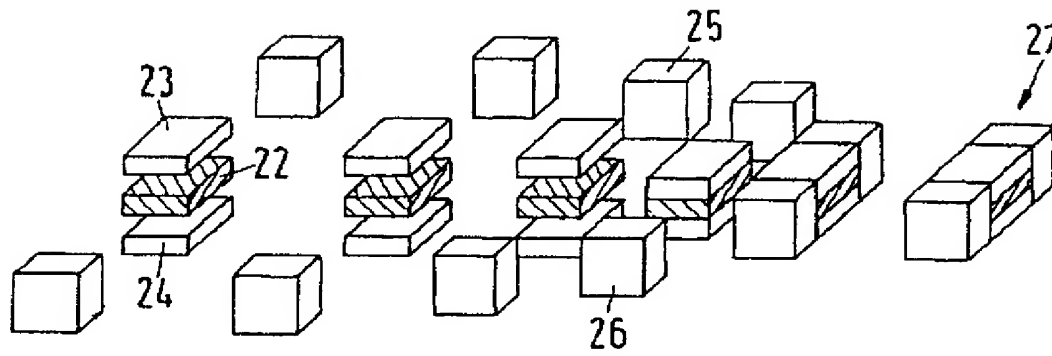
【図 3】

Fig.3



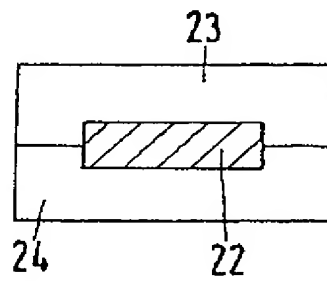
【図 4】

Fig.4



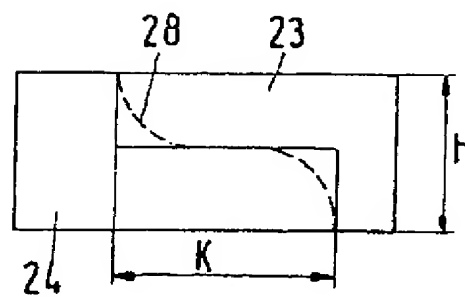
【図 5】

Fig.5



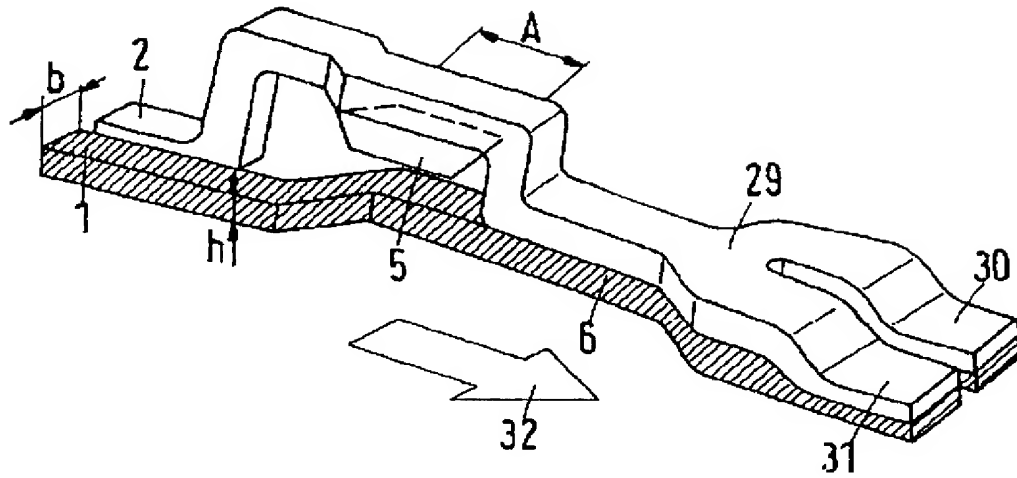
【図 6】

Fig.6



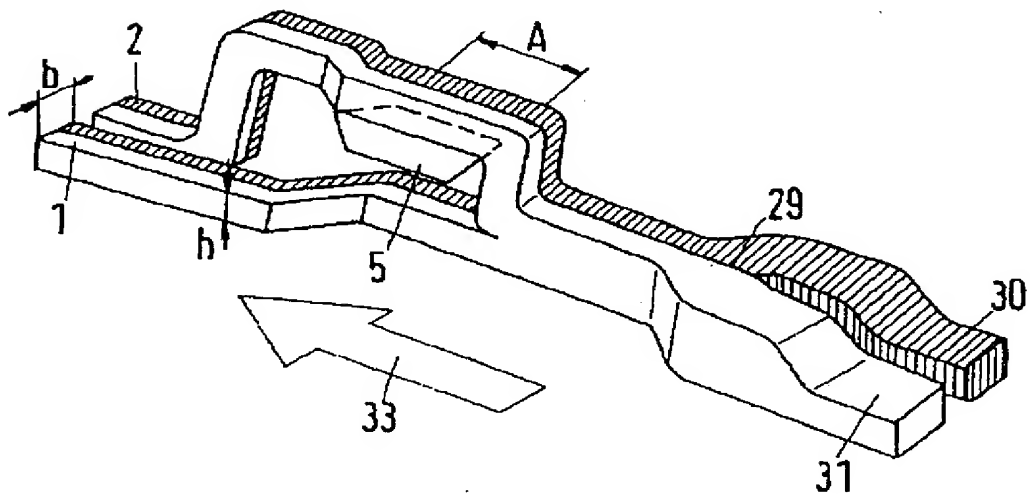
【图 7】

Fig.7



【图 8】

Fig.8



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/DK 96/00416

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC6: B01F 5/00, B01F 3/00 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC6: B01F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
SE, DK, FI, NO classes as above		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>WPI, CLAIMS</b>		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WD 9506517 A1 (ABOUSTEIT, OSMANN), 9 March 1995 (09.03.95), page 3, line 11 - page 5, line 29; page 7, line 13 - line 16; page 13, line 15 - page 15, line 6, figures 1, 2, claims 1-8, 17, abstract	1-6, 9-12, 17, 18, 20-22, 25
Y	figure 1, claim 1, abstract	7, 8, 19, 23, 24, 26, 27
X	GB 612012 A (HARRY STEWART WHELLER), 8 November 1948 (08.11.48), page 1, line 10 - line 23; page 1, line 90 - page 2, line 9; page 3, line 14 - line 89, page 4, line 20 - 43, figure 3 claims 1, 3	1-3, 6, 9, 11, 12, 16-18, 20-22, 25
Y	figure 3, claim 1	4, 5, 7, 8, 19, 23, 24, 26, 27
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier documents but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reasons (as specified) "O" document referring to no oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principles or theory underlying the invention "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document number of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
19 December 1996		17 -01- 1997
Name and mailing address of the ISA/ Swedish Patent Office Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. +46 8 666 02 86		Authorized officer Ingrid Grundfelt Telephone No. +46 8 782 25 00

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DK 96/00416

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4793247 A (KEES VERWEIJ), 27 December 1988 (27.12.88), column 1, line 31 - line 48; column 2, line 46 - line 68, figure 1, claims 1,5, abstract	1-3,6,9,11, 12,17,18, 20-22,25
Y	figure 1, claim 1, abstract	4,5,7,8,19, 23,24,26,27
	--	
Y	US 3195865 A (R.E. HARDER), 20 July 1965 (20.07.65), column 3, line 14 - line 41; column 6, line 9 - line 21, figure 1, claims 13-16	4,5,7,8,19, 23,24,26,27
	--	
A,P	WO 9530475 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH), 16 November 1995 (16.11.95), abstract, figures, claims	1-19
	--	
E	WO 9630113 A1 (MERCK PATENT GMBH), 3 October 1996 (03.10.96), abstract, figures, claims	1-19
	-- -----	

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

28/10/96

International application No.  
PCT/DK 96/00416

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A1- 9506517	09/03/95	DE-A- 4329302 EP-A- 0715541	02/03/95 12/06/96
GB-A- 612012	08/11/48	NONE	
US-A- 4793247	27/12/88	CA-A- 1285272 EP-A,B- 0260736 JP-C- 1696216 JP-B- 3064177 JP-A- 63077524 NL-A- 8602338	25/06/91 23/03/88 28/09/92 04/10/91 07/04/88 18/04/88
US-A- 3195865	20/07/65	NONE	
WO-A1- 9530475	16/11/95	DE-A,C- 4416343 WO-A- 9530476	16/11/95 16/11/95
WO-A1- 9630113	03/10/96	DE-A- 19511603	02/10/96



---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), UA(AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AM, AT, AU, BA, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KR, KZ, LT, LU, LV, MD, MK, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SE, SG, SI, SK, TR, UA, US, UZ, VN

(72)発明者 グラブセン, ペテル  
デンマーク国・ディケイ-6430・ノルドボ  
ルグ・ハイルドベルベイ・6

(72)発明者 ダイル-ミケルセン, ポール  
デンマーク国・ディケイ-6470・サイダル  
ス・ホラブハブ・ラングロク・12

(72)発明者 ガード, ニールス  
デンマーク国・ディケイ-6400・ソन्दル  
ボルグ・ホイランド・9